http://www.bisee.ac.cn　　E-mail: htqhjgc@126.com　　Tel: (010)68116407, 68116408, 68116544

GJB 150.3A 中高温试验程序剖析（一）：GJB 150A/150 高温试验程序及其相互关系

彭雄伟[1]，祝耀昌[2]，李　明[2]，李宝晗[3]
（1. 西安西测电子技术服务有限公司，西安 710119；2. 中国航空综合技术研究所，北京 100028；
3. 中航工业洛阳光电设备研究所，洛阳 471003）

摘要：文章分两部分就 GJB 150.3A《军用装备实验室环境试验方法 第 3 部分：高温试验》中的高温日循环贮存和日循环工作，高温恒温贮存和恒温工作试验模拟的环境、适用对象及其特点进行详细分析。第一部分着重介绍 GJB 150.3A 的各试验程序及其与 GJB 150.3 和 MIL-STD-810C 中各试验程序的关系；第二部分对 GJB 150.3A 提供的自然和诱发的温度日循环数据作为贮存或工作试验条件可应用于哪类设备进行说明，并对目前 GJB 150.3A 在型号工程应用中一些疑问、误解和问题进行分析和说明。

此为第一部分。

关键词：高温试验；高温日循环；高温恒温；试验程序；标准

中图分类号：V416.6　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1673-1379(2015)05-0504-05

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1379.2015.05.009

Analysis of high temperature test procedures in GJB 150.3A: (Part Ⅰ) High temperature test procedures and their relationship in GJB 150A/150

Peng Xiongwei[1], Zhu Yaochang[2], Li Ming[2], Li Baohan[3]
(1. Xi’an XiCe Electronic Technology Service Co. Ltd., Xi’an 710119, China;
2. China Aero-Polytechnology Establishment, Beijing 100028, China;
3. Luoyang Institute of Electro Optical Equipment, Luoyang 471003, China)

Abstract: Since the GJB 150.3A “Military Materiels Laboratory Environmental Test Methods: (Part 3) High Temperature Test” was enacted in 2009, in the applications of its high temperature diurnal cycle storage and operation, the constant temperature storage and operation test procedures, many questions remain to be cleared. This paper (in two parts) makes a detailed analysis of the simulated environment of these procedures, the application object and its characteristics. The first part is focused on the test procedures and their relationships with GJB 150.3 and MIL-STD-810C. The second part discusses the application object types of the storage and operation test procedure conditions based on the natural and induced temperature diurnal cycle data in GJB 150.3A. Some other questions, misunderstandings and problems in the engineering applications are also discussed in the second part. The following text is the first part.

Key words: high temperature test; diurnal cycle temperature; constant temperature; test procedure; standards

0　引言

GJB 150A[1]自 2009 年颁布以来，试验人员一直对其高温试验中的日循环试验程序的理解和应用存在疑问：为什么要将 GJB 150.3 中的恒定高温贮存和工作试验改成日循环？为什么 GJB 150.3A 中规定的恒定温度贮存试验的时间要在受试产品达到温度稳定后再加上至少 2 h？GJB 150.3A 规定恒定温度贮存试验用于贮存在发热设备附近的装备，那么什么样的装备会贮存在发热设备附近？GJB 150.3A 的工作日循环试验又适用于什么样的装备；对于那些一旦启动工作，太阳辐射加热和自然环境温度对其工作环境温度不起

收稿日期：2015-08-16；**修回日期**：2015-10-07

主导作用的装备能采用日循环工作试验吗？诸如此类问题，GJB 150.3A 中均没有明确的说明，从而使该标准的应用受到影响。本文尝试对这些问题予以分析和讨论，以期帮助试验人员更好地理解和应用该标准。

1　GJB 150.3A 中的温度试验程序

GJB 150.3A 设置了贮存和工作 2 个试验程序，每个程序又分为温度日循环试验和恒定温度试验 2 个子程序，具体见表 1。

表 1　GJB 150.3A 的高温试验程序

Table 1　High temperature test procedures in GJB 150.3A

程序		模拟环境	试验目的	试验温度	试验时间	试验适用对象	特点
程序 I（贮存）	日循环贮存	贮存状态遇到太阳辐射引起的高温环境	验证贮存遇到的高温对装备的安全性、完整性和性能的影响	1%风险的太阳辐射诱发的高温日循环	至少 7 个日循环	直接暴露于太阳辐射条件下带外壳的设备	温度与太阳辐射诱发温度相关
	恒温贮存	贮存状态处于发热设备附近的高温环境		发热设备附近的高温	受试产品达到温度稳定后加上至少 2 h	直接暴露于某一发热设备附近的设备	温度与贮存处发热设备引起的高温有关
程序 II（工作）	日循环工作	工作状态暴露于自然气候环境温度中	验证工作遇到的高温对装备性能的影响	1%风险的自然环境高温日循环	至少 3 个、至多 7 个日循环	直接暴露于自然环境温度中的设备	温度与自然环境温度日变化有关
	恒温工作	工作状态暴露于某一平台环境中		工作环境在其安装平台上某微环境的温度	受试产品达到温度稳定后至少 2 h	直接暴露于某一微环境温度中的设备	温度与平台环境中各因素影响有关

1.1　日循环贮存和日循环工作试验

1.1.1　基本内容说明

日循环贮存和日循环工作试验程序的特点是分别模拟太阳辐射诱发的空气温度和自然环境空气温度。即装备贮存或运输状态下暴露于自然环境空气温度下时，日晒在装备壳体内部诱发出的空气温度，以及百叶箱中测出的大气温度。一般来说，带壳体的装备内部温度可以高出自然环境空气温度 15～22 ℃。GJB 150.3A 给出了世界上“基本热”和“热”两类地区的地理分布，以及各自对应于 1%时间风险极值温度的温度日循环数据，如表 2 所示。

表 2　世界基本热和热两类地区的地理分布和温度

Table 2　Location and temperature of basic hot and hot dry regions of the world

气候类型	基本热			
温度/℃	自然环境空气温度		诱发内部空气温度	
	温度范围	1%极值	温度范围	1%极值
	30～43	43	30～63	63
最高温度出现时间	一天中的某段时间	13 点到 17 点	一天中的某段时间	14 点到 15 点
分布地区	西南亚外延区、非州、南美，以及美国、墨西哥、澳大利亚、南非、西班牙南部			
气候类型	热			
温度/℃	自然环境空气温度		诱发内部空气温度	
	温度范围	1%极值	温度范围	1%极值
	32～49	49	33～71	71
最高温度出现时间	一天中的某段时间	16 点	一天中的某段时间	15 点
分布地区	北非、中东，以及巴基斯坦、印度、美国西南部、墨西哥北部			

由表 2 可以看出："基本热"类地区装备贮存或运输状态内部诱发的空气温度极值（63 ℃）要比自然环境温度极值（43 ℃）高 20 ℃，而"热"类地区则高出 22 ℃。

表 2 中的"热"类分布地区中亚州只有巴基斯坦和印度，没有中国，似乎在我国国内使用的军用装备不必按"热"类地区的温度极值（71℃）进行设计和试验，但这是不可取的。一方面是因为 GJB 150.3A 等效采用了美军标 MIL-STD-810F[2]第 II 部分的高温试验信息，而这些信息来源于 MIL-HDBK-310《研制军用产品用的全球气候数据》和美国陆军规程 AR70-38《用于极端气候条件的装备的研究、研制、试验和评价》。这些标准在确定世界范围热类地区时没有纳入中国最热地区的数据。事实上 20 世纪 70 年代末，我国环境专家在南方一些机场（如江西向塘机场）对比斯飞机（歼 6 飞机）内部温度进行过实测，均测得高于 70 ℃的高温。另一方面基于全球作战战略考虑，也应当采用覆盖世界范围的温度极值。

1.1.2 GJB 150.3A 采用日循环试验程序的原因

气候环境试验标准中，有完全模拟环境极值和只模拟环境效应的 2 类试验方法。完全模拟环境极值的试验条件设计原则之一是采用有一定风险的极值。军用装备能够承受某一气候环境因素极值的作用就意味着其也能承受比极值温和的该气候因素的其他值。GJB 1172《军用设备气候极值》和 MIL-HDBK-310《研制军用产品的全球气候数据》2 个标准以 0.5%、1%、5%、10%等风险给出了相应的气候环境因素极值供选用，只要确定承担的风险和装备未来使用地域，即可从标准中找到各因素的相应风险极值，用于装备的设计和试验。

GJB 150.3A 中规定的日循环模拟的也是环境极值，具体地说是模拟基本热和热 2 种气候类地区最热月中时间风险为 1%的极值对应日的温度日循环；而 GJB 150.3[3]中模拟的是 1%风险的那个极值（71 ℃），因此都可以看作极值模拟，但 GJB 150.3A 的模拟更真实。美国环境工程专家 Herbcr W. Ejbert 在《810G 的历史与原理》[4]资料中指出，改为日循环贮存试验的原因是要模拟装备实际经历的 71 ℃极值对应的日循环温度环境，而不是连续 48 h 的恒定高温环境。而且，恒定高温（71 ℃、48 h）的试验更为严酷，要求进行更好的耐高温设计，将会增加产品研制成本。

1.2 恒定温度贮存和恒定温度工作试验

1.2.1 GJB 150.3 的恒定温度贮存试验仅模拟太阳辐射诱发的高温

GJB 150.3 没有模拟温度日循环的试验程序，仅有恒定温度贮存和恒定温度工作 2 个试验程序。模拟贮存环境或工作环境中遇到的极端温度，认为产品能在极端温度下贮存不被破坏或能正常工作，意味着其也能承受比极端温度温和的温度环境。

世界热地区 1%风险的太阳诱发温度极值为 71℃，GJB 150.3 将恒定温度贮存试验温度定为 70 ℃，是 1983 年制定标准时贯彻当时流行的将试验条件数字圆整化的结果；而 48 h 的贮存时间是沿用早期 810 系列标准[5-6]中的时间，有加严的成分，实际上不可能连续经受极端温度达 48 h，因为一般一天中只有 1～2 h 的最高温度持续时间。

1.2.2 GJB 150.3A 的恒定温度贮存试验不模拟太阳辐射诱发的高温

GJB 150.3A 中的恒定温度贮存试验与 GJB 150.3 中的 70 ℃、48 h 的恒定温度贮存试验不是一个概念，切勿混淆。从表 1 可以看出：GJB 150.3 的恒定温度贮存试验是模拟太阳辐射在带外壳装备内部诱发起最大温升后的温度下贮存时对装备的完整性、安全性的影响，而 GJB 150.3A 的恒定温度贮存则是模拟装备贮存在发热设备附近，由于发热设备发热造成的高温环境对装备完整性、安全性的影响。

1.2.3 GJB 150.3 和 GJB 150.3A 的恒定温度工作试验都是模拟平台环境温度

GJB 150.3 的恒定温度工作试验是模拟装备工作状态遇到的最高温度，通常是指平台上的诱发环境温度，MIL-STD-810C[5]称之为设计最高工作温度；GJB 150.3A 的恒定温度工作试验适用于其工作状态会遇到人为发热装置，如电动机、发动机、电源、高密度电子封装件，通过辐射对流或排出气流的冲击作用造成局部高温环境的设备。因此 GJB 150.3 和 GJB 150.3A 的恒定温度工作试验基本上是一回事。若装备产品一直是在连续工作，就应以这个恒定温度作为高温工作试验的温度；但如果某些产品

的常态是在此环境中不工作，必要时才工作，则此温度既是高温贮存试验温度，又是高温工作试验温度。

2　MIL-STD-810C 中的高温试验与 GJB150/150A 的关系

2.1　810C 中的高温试验程序及说明

许多人认为 GJB 150.3 中的高温贮存试验和高温工作试验全部等效采用了美军标 MIL-STD-810C 中方法 503“高温试验”的内容，其实不是这样。图 1 和图 2 分别为 810C 方法 503 中的恒温贮存和高温工作两个试验组合起来的程序（程序 I）和温度交变循环贮存试验和高温工作试验组合起来的程序（程序 II）。

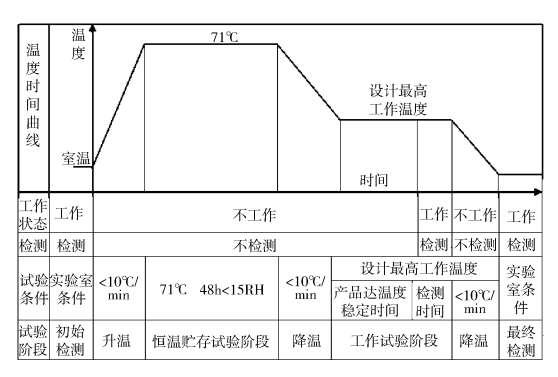


图 1　MIL-STD-810C 恒温贮存和高温工作组合试验程序
Fig. 1　The combination test procedure of constant temperature storage and high temperature operation in MIL-STD-810C

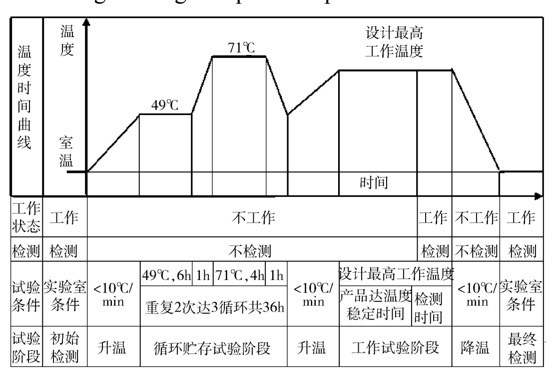


图 2　MIL-STD-810C 温度交变循环贮存和高温工作组合的试验程序
Fig. 2　The combination test procedure of cycling temperature storage and high temperature operation in MIL-STD-810C

从图 1 可以看出：恒温贮存试验温度为 71 ℃，时间为 48 h；高温工作试验的温度为产品设计最高工作温度，时间为受试产品达到温度稳定后加上检测产品功能和性能所需的时间。

从图 2 可以看出：其温度循环试验用了世界上热气候区 1%风险极值的自然环境空气温度极值 49 ℃和太阳辐射诱发的温度极值 71 ℃，分别保温 6 h 和 4 h，加上中间升/降温各 1 h，构成 1 个循环为 12 h。810C 标准中规定温度循环试验需完成 3 个循环共 36 h。但这一循环不是日循环模拟，只是把 2 个极值组合起来构成温度循环，其设计原理不得而知。然而，把 2 个极值放在一起是不恰当的，因为贮存状态的极值温度只有 1 个，不是太阳辐射诱发的 71 ℃，就是不受太阳辐射影响的 49 ℃，不可能同时存在。美军标从 810D[6]开始，一直到 810G，都不再用这种温度循环，而是使用真实日循环[7-8]。有关高温工作温度试验部分，也是使用产品设计最高工作温度，与程序 I 中的这部分是一样的，可见，810C 的高温工作试验不使用日循环温度。

2.2　GJB 150 与 MIL-STD-810C 高温试验程序之间的关系

1）高温贮存试验程序之间的关系

GJB 150.3 中高温贮存试验程序等效采用了 810C 方法 503 程序 I 的恒温贮存试验阶段，只是贮存试验温度 GJB 150.3 为 70 ℃，而 810C 方法 503 程序 I 为 71 ℃。GJB 150 编制组根据当时试验条件圆整化的原则，将 71 ℃改为了 70 ℃，两者都是模拟世界最热地区 1%风险的极值温度。

GJB 150.3A 虽然也有恒温贮存试验，但仅适用于贮存在热源附近的设备或安装在热源附近且常态不工作的设备，不模拟太阳辐射引起的带外壳设备内部的高温环境，因而与 GJB 150.3 的高温贮存试验程序不能混用。

2）高温工作试验程序之间的关系

由图 1 和图 2 可以看出：810C 两个程序的工作试验阶段是完全一样的，都是恒定温度试验，模拟产品设计最高工作温度。GJB 150.3 高温工作试验程序等效采用了 810C 两个程序的工作试验阶段。产品设计最高工作温度实际上是指产品安装在其平台上的微环境中工作时遇到的最高温度，这一温度随平台不同和在平台上安装位置的不同而变化，通用标准中无法规定，应当通过实测得到。

3）GJB 150.3 没有循环试验程序

如前所述，810C 方法 503 程序 II 中贮存试验以循环方式进行，无法理解，因而 GJB 150.3 没有采用，810C 以后的 810D/E/F/G 也取消了这一程序。

3 结束语

1）GJB 150.3 的高温贮存试验程序和高温工作试验程序来源于美军标 MIL-STD-810C 方法 503.1 的程序 I，后者是将高温 71 ℃恒温贮存试验和产品在恒定的最高设计温度下工作试验组合而成的恒定高温试验。GJB 150.3 将这一组合试验程序分为两个单独的试验程序。810C 方法 503.1 程序 II 是由自然空气温度极值（49 ℃）和诱发空气温度极值（71 ℃）构成的循环贮存试验与产品在恒定的设计最高温度下工作试验组合而成的试验，由于该程序中的循环温度试验模拟环境不恰当，GJB 150.3 没有采用，美军标 810D/E/F/G 亦将其改成了模拟太阳辐射诱发环境温度的日循环试验。

2）GJB 150.3A 中的恒定温度贮存试验与 GJB 150.3 的恒定温度贮存试验模拟的环境不一样，GJB 150.3 模拟的是装在密闭、不通风的空间中（如飞机设备舱），设备在不工作状态下遇到的由太阳照射密闭壳体诱发的内部空气的温度。GJB 150 将恒定温度试验的温度确定为 70 ℃，相当于密闭壳体置于“热”类地区的 1%风险对应的高温诱发温度极值，这种环境模拟在 810D/E/F/G 和 GJB 150.3A 中用对应于 71 ℃的峰值高温那天的日循环，即 33～71 ℃的日循环。因此，GJB 150.3 的恒定高温贮存试验与 GJB 150.3A 中的 33～71 ℃日循环贮存试验是一回事，两者都模拟世界上最热地区 1%时间风险的太阳辐射诱发的空气高温温度。

3）GJB 150.3A 中的恒定高温试验模拟的贮存温度是产品贮存或不工作状态遇到的由发热设备发热而不是太阳辐射诱发的高空气温度。放置或安装在发热设备附近的设备，要模拟其不工作状态遇到的高温时（相当于贮存状态），要进行这种恒定温度贮存试验。这种贮存试验的时间为受试产品达到温度稳定后再加上至少 2 h，这与 GJB 150.3 的恒定温度试验时间 48 h 不一样，千万不能把 GJB 150.3 中的 70 ℃、48 h 的恒温贮存试验的 48 h 改为 GJB 150.3A 中的“产品达到温度稳定后再加上至少 2 h”。

4）GJB 150.3A 中无论是其恒定温度贮存试验还是其恒定温度工作试验的保温时间均是产品在设定试验温度下达到温度稳定后再加上至少 2 h。如此规定的理由是用直接测量法得到温度稳定时间不可能准确，为确保受试产品真正达到温度稳定，以延时作为补充措施。根据产品的结构、材料受温度的影响情况和检测产品功能、性能的需要，这一时间还可延长，因而规定至少 2 h。

5）GJB 150.3A 中恒定温度工作试验程序的温度主要取决于其实际工作环境中将遇到的温度。对于大多数军用装备来说，是指其平台环境温度，很显然这一温度除了与自然环境（包括太阳辐射诱发的环境）初始或基础温度相关外，主要取决于装备安装平台的运动和其安装位置附近的设备发热、通风和冷却能力。平台运动时间取决于其作战任务和自身工作特性，与自然环境日循环无关。一般情况下仅模拟其经受到的最高温度，这就是 810C 中产品设计最高温度和 GJB 150.3 中工作温度的来源，一般要通过实际测量获得相关数据。因此，大多数装备不模拟日循环。特殊情况下，为了更真实模拟，也可按照产品负荷变化和工作周期，设计一个由几个温度组成的日循环，这通常用于寿命试验。

6）GJB 150.3A 中的日循环工作试验，其应用对象和使用什么数据，将在本文第二部分加以分析和说明。

（未完待续）

参考文献（References）

[1] GJB 150A—2009 军用装备实验室环境试验方法[S]
[2] MIL-STD-810F Environmental engineering considerations and laboratory tests[S], 2000
[3] GJB 150—1986 军用设备环境试验方法[S]
[4] Ejbert H W. The history and rationale of MIL-STD-810[M]. 2nd ed. Institute of Environmental Sciences and Technology, 2010
[5] MIL-STD-810C Space and army equipment environmental test methods[S], 1975
[6] MIL-STD-810D environmental test methods and engineering guidelines[S], 1983
[7] MIL-STD-810E Environmental test methods and engineering guidelines[S], 1989
[8] MIL-STD-810G Environmental engineering considerations and laboratory tests[S], 2008

（编辑：张艳艳）

作者简介：彭雄伟（1985—），男，硕士学位，高级工程师，主要从事环境与可靠性试验及试验技术研究。通信作者：李 明（1982—），男，博士学位，高级工程师，主要从事装备环境效应分析及环境试验技术研究；E-mail: liming_mse_buaa@163.com。